

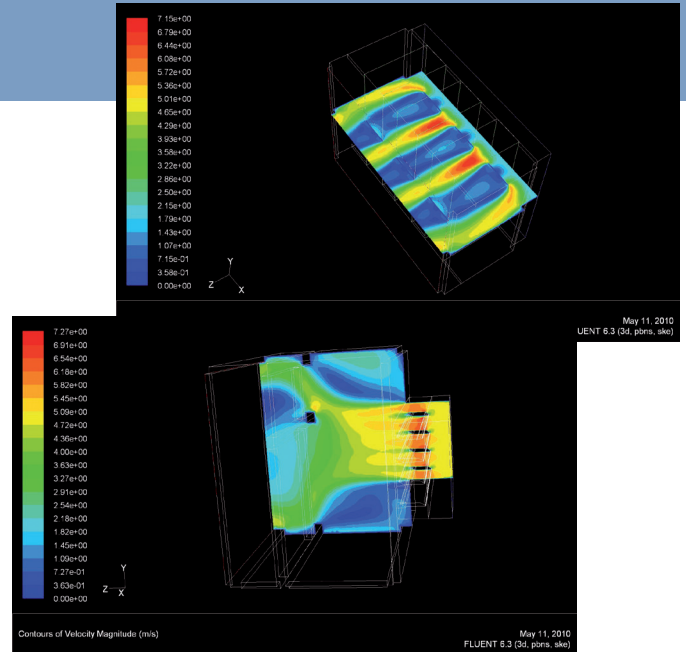


hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Mühendislik hesaplamalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan kompleks modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, parçanın tasarım aşamasında iken belirlenmesi, zaman ve maliyet açısından üreticiye önemli avantajlar sağlamaktadır.

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics-CFD), ilgili alanda detaylı hesaplamaların yapılabildiği, akış alanı ve diğer fiziksel detayların gösterilebildiği, bilgisayar tabanlı bir mühendislik yöntemidir. CFD analizlerinin sonuçları, Simülasyon Tabanlı Ürün Tasarım sürecinde ürünün çalışmasını, varsa problemleri bilgisayar ortamında simüle etmeye ve ürün performansını optimize etmekte önemli faydalar sağlar.

Mühendislik hesaplamalarında, akışkan davranışının doğru tespit edilmesi oldukça önemlidir. Analitik yöntemlerle direkt olarak hesaplanamayan kompleks modellerde, ısı transferi, basınç kayıpları, akış hızları gibi verilerin nümerik yöntemlerle, parçanın tasarım aşamasında iken belirlenmesi, zaman ve maliyet açısından üreticiye önemli avantajlar sağlamaktadır.



Çok fazlı akışlar, newtonian veya newtonian olmayan akışlar, katı-sıvı etkileşim analizleri, ileri türbülans modelleri, dönen parçaların analizleri gibi bir çok uygulamada CFD, doğru ve hızlı sonuç elde etmenizi sağlar.

Akışkanlar mekaniği ile ilgili hesaplamalar, uzay ve havacılık, otomotiv, kimyasal prosesler, ısıtma, soğutma, havalandırma, biyomedikal ve gemicilik gibi birçok endüstriyel alanda karşımıza çıkmaktadır. ►►

Mekanik Uygulamalar

Medikal cihazlar
Isıtma, soğutma, havalandırma sistemleri
Motor soğutma sistemleri
Jet motorları ve turbomakinalar
Aerodinamik ve hidrodinamik gövde tasarımı
Giriş ve egzost sistemleri
Yakıt sistemleri
Transmisyon sistemleri
Frenler, kavramalar
Termostatlar
Valfler
Pompalar
Kompresörler
Fanlar
Isı değiştiriciler
Fırınlr, ocaklar
Soğutma sistemleri, dondurucular
Tesisat sistemleri
Sulama, yağmurlama sistemleri
Atık işleme ve arıtma sistemleri
Kimyasal, gıda, malzeme prosesleri
Jeneratör sistemleri
Yakıt hücreleri
Askeri savunma sistemleri

Elektronik Uygulamalar

Kabin tasarımı
Fan tasarımı, yerleşimi
Cihaz seviyesi tasarım
Sistem seviyesi tasarım
Hava ve su soğutmalı sistemler
Sistem seviyesi "heatpipe" simülasyonları
Telekomünikasyon sistemleri
Bilgisayarlar ve çevre birimleri
Güç kaynakları
Projektörler
Tüketici elektroniği
Medikal elektronik
Askeri elektronik
Otomotiv elektronik

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği'nin Adımları

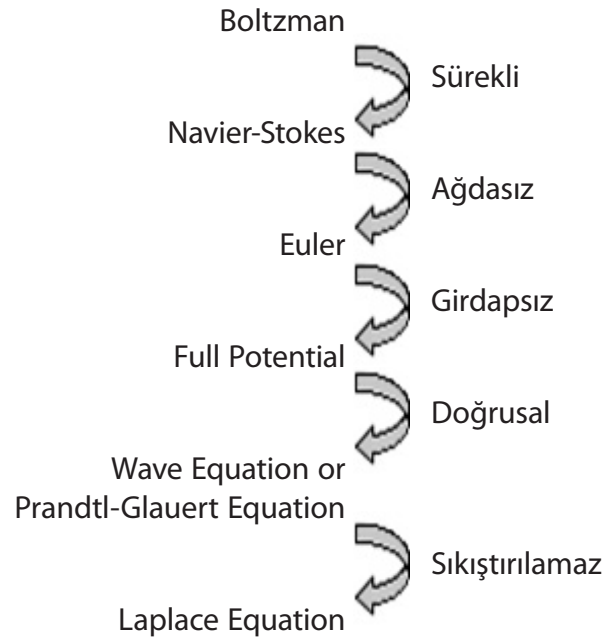
Birincil Adımlar (Pacing items):

- Çözüm ağıları (Grids)
- Türbülans (Turbulence)
- Bilgisayar Donanımı (Computer Hardware)
- Çözüm yöntemleri (Solution Methodologies)

İkincil Adımlar (Secondary items):

- Çözüm ağıları (Complex Geometry Definitions)
- Önceki- ve Sonraki- İşleme (Pre- and Post-Processing): Tecplot, Fieldview, Ensight, ...
- Algoritmalar (Algorithms)

Akışkanlar Dinamiği Denklemleri



	Sürekli	Sıkıştırılabilir	Doğrusal olmayan	Girdaplı	Viskoz	Seyreltilmiş
Boltzman	X	X	X	X	X	X
Navier-Stokes	X	X	X	X	X	
Euler	X	X	X	X		
Full Potential	X	X	X			
Prandsl-Glauert	X	X				
Laplace	X					

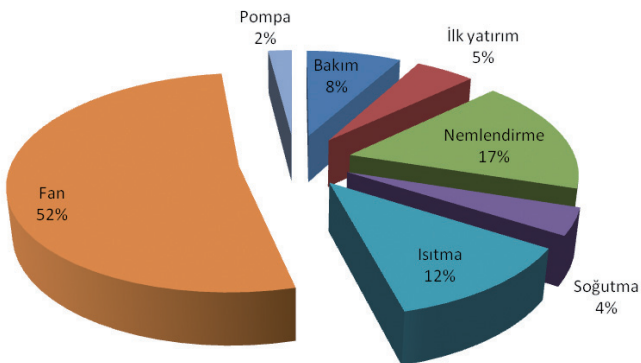
Hesaplamalı akışkan dinamiği nerede kullanılır ve ne zaman tercih edilir?

- Hesaplama ve tasarım çalışmalarında
- Benzetim tabanlı tasarım
- CFD deneysel akışkan dinamiğine göre daha maliyet-etkindir ve sonucu daha çabuk ulaşılabilir
- CFD ilgilenilen akış bölgesi içinde deneyle göre daha ayrıntılı incelenebilir ve değerlendirilebilir veriler sunar, deney esnasında ölçülemeyen, gözlemlenemeyen pek çok veriye hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile ulaşılabilir
- Deney yapılmasının güç ya da imkansız olduğu fiziksel olayların modellenmesi
- Tam ölçek benzetimler; örneğin gerçek denizaltı üzerindeki, çeşitli kule konumlarının, pervanenin akustik nitelikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi gerekli olsa bu verilere deney yoluyla ulaşmak hemen hemen imkânsız olurdu.
- Çevresel etkiler; örneğin öngörülen bir kasırganın gemi üst yapısı üzerindeki etkisi incelenmek istendiğinde,
- Tehlikeli olaylar; patlamalar, radyasyon, kirlenme gibi
- Fizik; yıldız gelişimi, karadelikler vs.
- Akışkan fiziği hakkında yeni kuramların geliştirilme çalışmalarında

HVAC UYGULAMALARINDA CFD ANALİZ

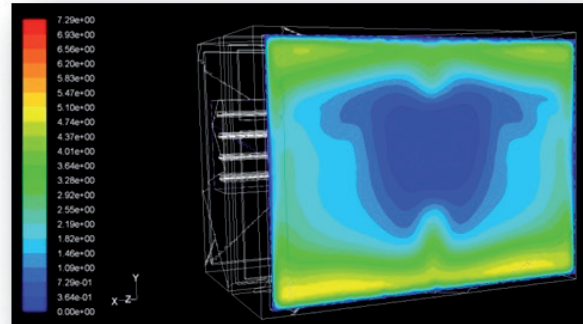
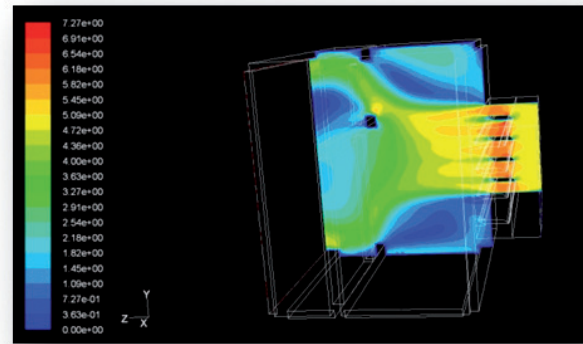
Hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamaları ısıtma-soğutma-havalandırma sektöründe de önemli bir yer teşkil etmektedir. HSK'nın bu konuda yapmış olduğu çalışmalar mevcuttur ve yeni çalışmalar da hızla devam etmektedir.

HVAC Bileşenlerinin maliyet oranları



Şekil 1: Klima Santrallerinde Maliyetler

HVAC sektöründe klima santralleri, genel olarak hava şartlandırma üniteleri olarak tanımlanabilir. Kullanım amacı; kapalı bir mekana istenilen sıcaklık ve nem değerlerinde filtrelenmiş temiz hava sağlamaktır. Fakat şartlandırma esnasında hava, farklı klima santrali bileşenleriyle karşılaşmakta, dolayısı ile her karşılaştığı engel bir basınç düşümü oluşturmaktadır. Basınç düşümlerinin yüksek olması ise daha büyük güç gerektiren motor seçimine sebebiyet vermektedir. Dolayısı ile iç kayıplar azaltıldığında kapasiteler küçülecek, daha düşük enerji tüketen klima santralleri tasarlanabilecektir.



HSK'nın, "Klima Santrallerinde İç Basınç Kayıplarının Azaltılması" projesinde kullanılan CFD analiz programı olan FLUENT, karmaşık geometrideki akışın, ısı geçişinin ve yanma gibi kimyasal reaksiyonlarının modellenmesi için geliştirilmiş bir bilgisayar programıdır. Çözümlemek üzere ele alınan geometrinin üç boyutlu hücre yapısı oluşturularak sayısal çözümleme yapma imkânı sağlar.

Sayısal çözümleme aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

1. Modelleme hedeflerinin tayini: Modelden istenen sonuçlar nelerdir ve nasıl kullanılacaklar? Modelden istenilen hassasiyet nedir?

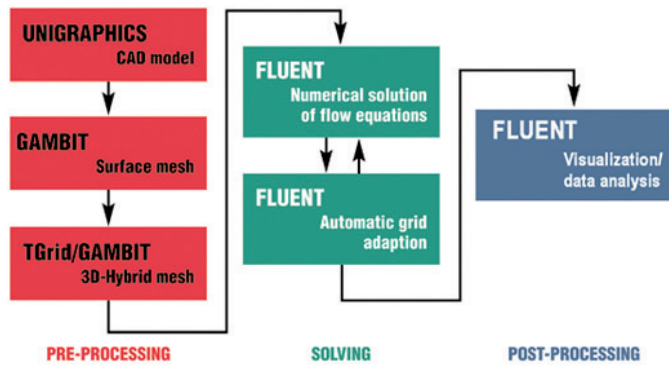
2. Sayısal çözümleme modelinin seçimi: Modelle-
necek fiziksel sisteminin belirlenmesi, Çözümleme
bölgesinin başlangıç ve sonunun belirlenmesi, Sınır
şartlarının saptanması, Problemin iki veya üç boyutlu
modellenmesinin belirlenmesi, Uygun grid yapısının
seçilmesi.

3. Fiziksel modellerin seçimi: Akışın laminar olup
olmadığının belirlenmesi. Isı geçişinin öneminin
belirlenmesi. Akışın sıkıştırılabilir olup olmasının
belirlenmesi.

4. Çözüm metodunun tayini: Problem mevcut çö-
zümlenici kullanılarak çözülebilir mi? Problemin
yakınsama zamanı nedir?

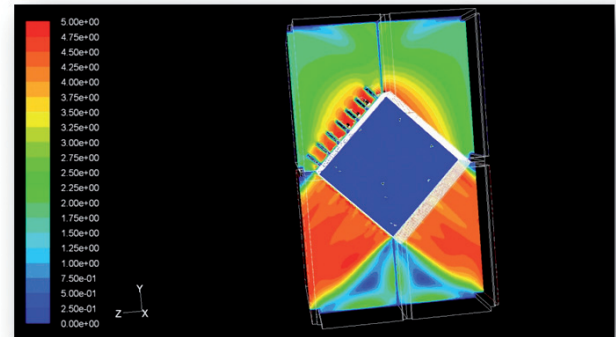
Problemin önemli özellikleri belirlendikten sonra
yapılacak işlemler aşağıda sıralanmıştır:

1. Model geometrinin oluşturulması
2. Modelin ağ yapısının (mesh) oluşturulması
3. İki veya üç boyutlu model için uygun çözümleyi-
cinin çalıştırılması
4. Gridin kontrolü
5. Çözümleyici seçimi
6. Çözüm modellerinin seçimi: laminar veya türbü-
lanslı, kimyasal bileşenler veya reaksiyonlar, ısı geçiş
modelleri. İlave modellerin tanımlanması: fanlar, ısı
değiştiricileri vb.
7. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi
8. Sınır şartlarının belirlenmesi
9. Çözüm kontrol parametrelerinin ayarlanması
10. Akış alanının başlatılması
11. İlk çözümlemenin yapılması
12. Sonuçların değerlendirilmesi
13. Sonuçların kaydedilmesi
14. Gerekliyse grid yapısı iyileştirilmesi veya sayısal/
fiziksel modelin gözden geçirilmesi.



Geometriyi çizmek ve ağ yapısını oluşturmak
için GAMBIT programı kullanılmaktadır. Ağ yapısı

oluşturulurken iki parametre önem kazanmaktadır.
Bunlar hücre sayısı ve grid yoğunluğudur. Yapılacak
modellemede kritik noktalarda gridin yoğun olması,
diğer noktalarda ise kaba ağ yapısı oluşturulması
gerekmektedir. Bu şekilde geometri optimum hücre
yapısına bölünüp optimum çözüm zamanı elde
edilebilir. Bunların dışında, ağ yapısı oluşturulurken
kullanılan hücre elemanı da önem kazanmaktadır.
GAMBIT bu konuda çeşitli eleman tipleri tanımla-
maktadır. En genel olarak üç boyutlu geometri için
iki hücre elemanı tipi kullanılmaktadır. Bunlar üçgen
yüzeylere sahip tetrahedral elemanlar ve dörtgen
yüzeylere sahip hexahedral elemanlardır.



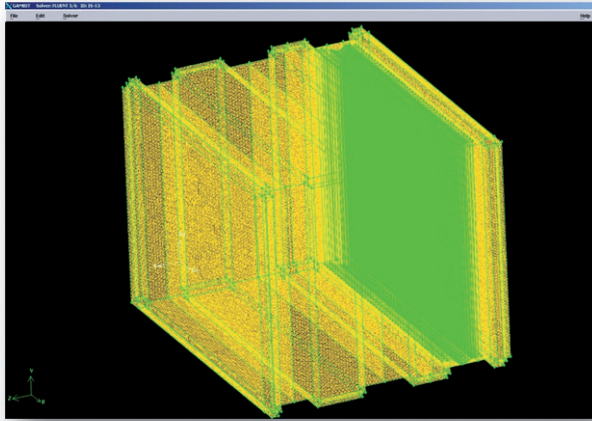
Çalışma irdelenecek olur ise; Solidworks progra-
mında çizilmiş olan santral bölümleri Gambit pro-
gramına okutulmuştur. Gambite aktarılan geometri
üzerinden ölçü alınarak, ilgili hücre Gambit progra-
mında tekrar çizilmiştir. Çizilen geometri hücrelere
ayrılmış (meshlenmiş) ve sınır şartları girilmiştir. Bu
işlem her hücre için ayrı ayrı yapılmıştır. Elde edilen
geometri kaydedilmiş ve mesh yapısı ile birlikte
"export" edilmiştir. Gambitte oluşturulan meshlenmiş
geometri Fluent programına okutulmuş ve daha
önce tanımlanmış özellikleri kontrol edilmiştir. Geo-
metrinin ağ yapısının uygunluğu kontrol ettirilmiştir.
Fluent programında ilgili modeller seçilmiştir. İlgili
hücresinin modellenmesi için gerekli sınır şartları in-
celenmiş ve gerekli veriler tespit edilmiştir. Model
Fluent programında koşturularak, çıkan sonuçlar
irdelenmiştir.

CFD İLE ISITMA VE SOĞUTMA HÜCRESİ ANALİZİ

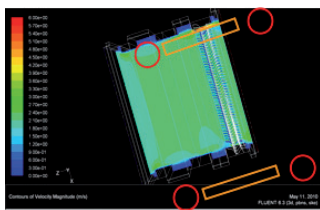
Hücre ısıtma, soğutma bataryaları ve damlacık tutucudan oluşmaktadır (Şekil 1). Isıtma ve soğutma bataryalarının gerçek geometrileri çizilmemiş, gerçek bataryalarda oluşan basınç kaybını oluşturacak şekilde radyatör sınır şartı olarak modellenmiştir. Damlacık tutucunun gerçek geometrisi modellemede kullanılmıştır. Bataryaların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

	Isıtıcı Batarya	Soğutucu Batarya
Kuru Termometre Giriş Sıcaklığı (°C)	-1.35	33
Kuru Termometre Çıkış Sıcaklığı (°C)	16.7	26
Hava Tarafı Basınç Kaybı (Pa)	30	87

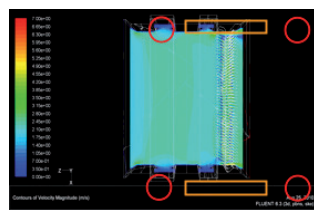
Tablo 1: Batarya Özellikleri



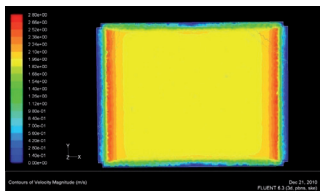
Şekil 1: Isıtma ve soğutma hücresinin mesh yapısı



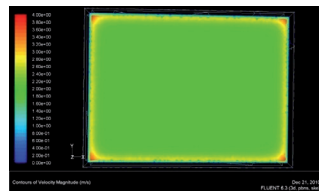
(a) Yatay düzlemde hız dağılımı



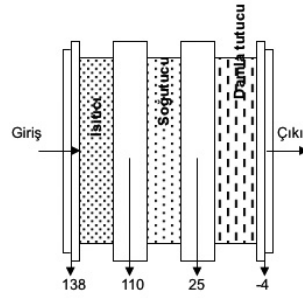
(a) Yatay düzlemde hız dağılımı



(b) hava giriş kesitinde hız dağılımı

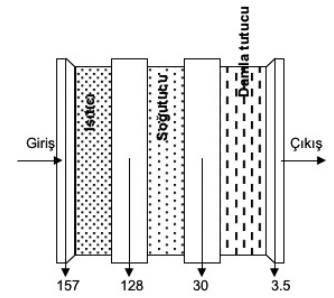


(b) hava giriş kesitinde hız dağılımı



(c) Statik basınç değerleri

Şekil 2: Isıtma soğutma hücresi (orjinal)



(c) Statik basınç değerleri

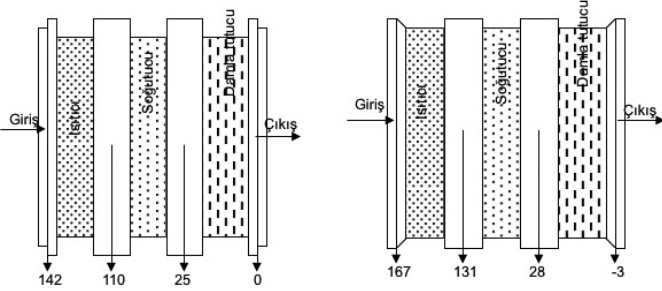
Şekil 3: Isıtma soğutma hücresi (yeni geometri, sıcak çözüm)

Şekil 2a'da yatay düzlemde hız dağılımı verilmiştir. Hava hızının ısıtıcı batarya öncesinde daha düşük olduğu, ısıdıktan sonra bir miktar arttığı görülmektedir. Geometrideki kesit genişlemelerinde ölü bölgeler olduğu görülmektedir (daire ve dörtgen ile gösterilen kısımlar). Akışta yön değiştirmeler oluşturmak amacıyla kesiti düzenlenmiş olan damlacık tutucunun bazı kısımlarında çok düşük hızlar oluşmaktadır. Giriş düşey düzlemindeki hız dağılımı Şekil 2b'de verilmiştir. En dış kenarlarda havanın durgun olduğu, iç kısımlara doğru artarak en büyük hız değerine ulaştığı görülmektedir. En büyük hız değeri bant şeklinde kenarlara yakın oluşmuştur. Merkeze doğru ilerledikçe hız düşmekte homojen dağılım oluşmaktadır. Şekil 2c'de şematik şekil üzerinde hücrenin ortasından geçen yatay çizgi boyunca statik basınç değerleri verilmiştir. En fazla basınç kaybının soğutma bataryasında gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 3a'da yeni geometride sıcak durum için yatay düzlemde hız dağılımı verilmiştir. Şekil 2a'da verilen hız dağılımı ile kıyaslandığında hücre giriş ve çıkışında yapılan geometrik değişikliklerin ölü bölgeleri ortadan kaldırdığı görülmektedir (daire içindeki kısımlar). Diğer geçiş bölgelerinde genişleme ve daralmanın etkisi ile hız dağılımının etkilendiği görülmektedir. Konik geçişler oluşturulduğunda üst kısımlarda kalan köşeli kısımlar ölü bölgeler oluşturmaktadır (dörtgen içindeki kısımlar). Giriş düşey düzlemindeki hız dağılımı Şekil 3b'de verilmiştir. Şekil 2b'de verilen orijinal geometride hücre girişinde hız dağılımı ile karşılaştırıldığında açılı geçişin oluşturulduğu geometride hız dağılımının daha homojen olduğu görülmektedir. Orijinal geometride kenarlarda meydana gelen düşük hız ve bant şeklinde oluşan hız kademeleşmesinin bu çözümde

oldukça dar bir kısma indirgendiği görülmektedir. Giriş kesitindeki açılı geometri hız dağılımında homojenliği arttırmıştır.

Şekil 4'te soğutma durumu için orijinal ve yeni geometrideki statik basınç değişimi verilmiştir. Isıtma çözümünde olduğu gibi en fazla basınç kaybının soğutma bataryasında gerçekleştiği görülmektedir.



(a) Orijinal geometri

(b) Yeni geometri

Şekil 4. Statik basınç değerleri (soğuk çözüm)

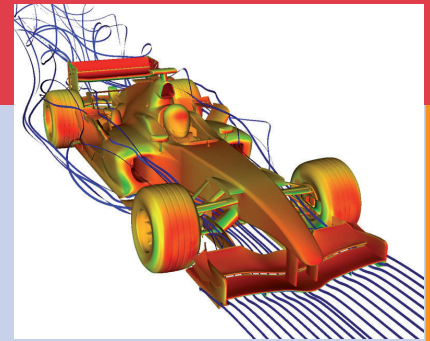
Isıtma ve soğutma hücreesindeki profiller ölü bölgelerin oluşmasına ve statik basınç değerinde kayıplara sebep olmaktadır. Hücre giriş ve çıkışında ve hücre içindeki geçiş bölgelerinde açılı yapının kullanımı ölü bölgeleri azaltmış, hücre girişinde daha düzgün hız dağılımı oluşmasını sağlamıştır.

Bazı hesaplamalı akışkan dinamiği tabirleri ve bunlar için kullanılan Türkçe karşılıkları	
CFD; Computational Fluid Dynamics	Hesaplamalı Akışkan Dinamiği
EFD; Experimental Fluid Dynamics	Deneysel Akışkan Dinamiği
Preprocessing	Önişlem
Postprocessing	Sonışlem
Grid	Örgü
Mesh	Örgü
Structured	Düzenli
Unstructured	Serbest
Domain	Etki alanı
Computational domain	Hesaplama alanı
Adaptation	Uyarlama, uyarlanma
Adaptive	Uyarlanmış
Mesh refinement	Örgü iyileştirme
Node	Düğüm
3D	3B
Simulation	Benzetim

bunları biliyor musunuz?

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinin Zaman İçinde Gelişimi

- 1920'ler; ilk temeller, sayısal analiz araştırmalarının başlaması
- 1950'ler; temel gelişmeler, önemli sayısal yöntemler geliştirilmesi
- 1960'lar ve 70'ler; hızlı gelişmeler, çok sayıda HAD algoritmasının geliştirilmesi
- 1980'ler; gerçek uygulamaların başlaması, ilk hava dinamiği çözümlerinin gerçek uygulamalar için denenmesi, araştırmacılar kendi konularına yönelik uygulamalar için kendi yazılımlarını meydana getirmesi
- 1990'lar; ticari yazılımlar, teknoloji belirli bir seviyeye eriştiğinden, gerek genel amaçlı uygulamalar gerekse özel amaçlı uygulamalar için pek çok ticari yazılım geliştirildi ve piyasaya sürülmesi
- 2000'ler; kullanılması kolay ve mevcut bilgisayar destekli tasarım sistemlerine gömülü otomatik ticari yazılımların ortaya çıkması



bulmaca

Aşağıdaki tanımlara karşılık gelen kelimeleri bulunuz. Kelimeler yukarıdan aşağıya, aşağıdan yukarıya, sağa-sola yatay ve her yönde çapraz şekilde bulunabilir. Aynı harf birden fazla kelimenin ortak harfi olabilir. KALAN HARFLERDEN OLUŞAN KELİMEYİ BULUNUZ.

- 1) CFD analizde ağ yapısı
- 2) Hemen kavranamayan, çözümü, kavranması güç olan; karmaşık
- 3) Fluent çizim programı
- 4) Newton'un viskozite kanununa uyan akışkanlara verilen ad
- 5) Akma işi veya biçimi
- 6) Manuel veya uzaktan kontrolle (elektrik veya pnömatik olarak) hava, su, hidrolik gibi akışkanların yolunu açıp kapayan, yön değiştiren musluk benzeri alet
- 7) Enerji üretmek için yakılabilen herhangi bir madde
- 8) Hesaplamalı akışkanlar dinamiği kısaltması (ing)
- 9) CFD analizde çözüm ağı

Y	A	N	A	L	İ	T	İ	K
A	M	E	S	H	C	F	D	O
K	A	W	D	A	R	L	T	M
I	N	T	I	F	O	U	I	P
T	E	O	R	İ	K	E	B	L
V	A	N	G	F	A	N	M	E
A	S	I	N	I	R	T	A	K
L	L	A	K	I	Ş	İ	G	S
F	Z	N	A	K	Ş	İ	K	A

- 10) Sıhhi tesisatta iki boruyu döndürmeden birbirine bağlanmasını sağlayan bağlantı parçası
- 11) Kendilerine özgü bir biçimleri olmayıp içinde bulundukları kabın biçimini alan (sıvı veya gaz), seyyal, likit.
- 12) Tartıda ağırlığı az gelen, yeğni, ağır karşıtı
- 13) Bir CFD analiz programı
- 14) Çözümsel, çözümlemeli, tahlili
- 15) Bir şeyin yayılabileceği ya da genişleyebileceği son çizgi, uç
- 16) Uygulama dışında kalan, akla dayanılarak ileri sürülen düşünce

Önceki bulmacanın çözümü

- | | |
|--------------|--------------|
| 1) FIRÇASIZ | 11) FIRÇALI |
| 2) TERMİSTÖR | 12) SENKRON |
| 3) CEMEP | 13) ŞEBEKE |
| 4) IEC | 14) ELEKTRİK |
| 5) RULMAN | 15) ŞAFT |
| 6) ADIM | 16) SERVO |
| 7) PAKO | 17) DC |
| 8) SARGI | |
| 9) KONVERTÖR | Kelime: |
| 10) ANAHTAR | STATOR |

E	K	O	N	V	E	R	T	Ö	R
I	L	F	I	R	Ç	A	S	I	Z
E	C	E	M	E	P	T	F	A	Ş
C	P	A	K	O	V	R	E	S	E
A	N	A	H	T	A	R	D	C	B
S	A	R	G	I	İ	A	S	T	E
A	N	A	M	L	U	R	D	T	K
S	E	N	K	R	O	N	İ	I	E
I	L	A	Ç	R	I	F	O	K	M
R	Ö	T	S	İ	M	R	E	T	R

Hazırlayanlar

Sefa BULUT • HSK AR-GE Baş Mühendisi - Merve ÜNVEREN • HSK AR-GE Mühendisi